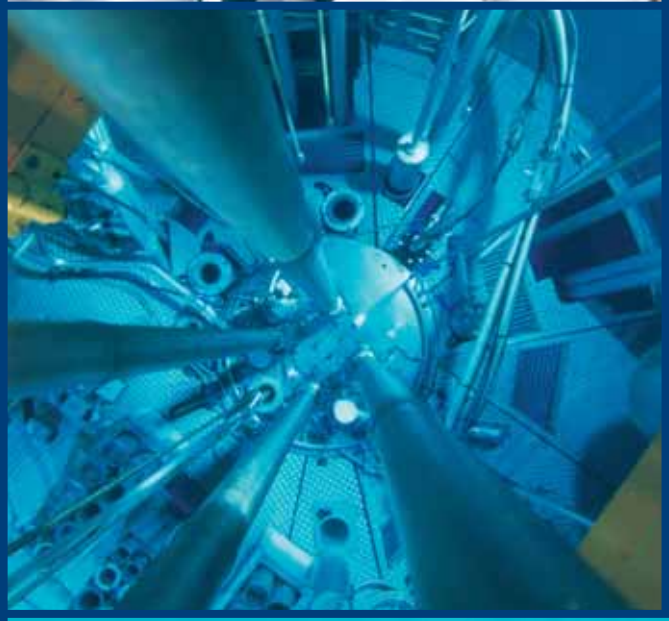
3e TRIMESTRE 2006 > N°33

Centre CEA de Saclay
LE JOURNAL



DOSSIER
Orphée et le Laboratoire Léon Brillouin, source nationale de neutrons

- La Direction générale du CEA s'implante à Saclay p. 3
- IVEA : des analyses chimiques par laser p.13

Éditorial

Éditeur
CEA (Commissariat à l'énergie atomique)
Centre de Saclay
91191 Gif-sur-Yvette Cedex
Directeur
Yves Caristan
Directrice de la publication
Danièle Imbault
Rédacteur en chef
Christophe Perrin
Rédactrice en chef adjointe
Sophie Astorg
Avec la participation de
Elisabeth Stibbe
Iconographie
Chantal Fuseau
Conception graphique
Mazarine
2, square Villaret de Joyeuse
75017 Paris
Tél. : 01 58 05 49 25

Crédits photos
CEA / J Boulay
CEA / C Fuseau
CEA / D Marchand
CEA / P Stroppa
CEA / A Gonin
CEA / F Rhodes
CEA
LGGE / C Vincent
Jean-Luc Signamarcheix
CEA / F Pillot
Synchrotron SOLEIL-clic'air-CK
CEA/DRM/SHFJ
Samuel Birmann, Kunstmuseum Bâle

N° ISSN 1276-2776
Centre CEA de Saclay
Droits de reproduction, texte et illustrations réservés pour tous pays

Photos de couverture : Haut gauche : le LLB, bas gauche : Orphée, droite : la Direction générale

Sommaire n° 33

Éditorial p.2
La DG du CEA à Saclay p.3
Orphée et le Laboratoire Léon Brillouin . . p.6
Du laboratoire à l'entreprise p.13
Piles à combustibles et enzymes p.14
Brèves p.15

À l'heure où la Direction générale du CEA s'installe à Saclay, alors que la construction de NeuroSpin[1] touche à sa fin, la physionomie du centre CEA de Saclay se transforme à vue d'œil : avec ces bâtiments, l'architecte Claude Vasconi livre deux réalisations élégantes, qui s'intègrent harmonieusement au paysage.

À quelques centaines de mètres de là, les équipes du synchrotron SOLEIL peaufinent leurs ultimes réglages avant l'arrivée prochaine des premiers utilisateurs, d'ici quelques mois. Dans ce domaine particulier de l'analyse structurale, le plateau de Saclay est richement doté de grands instruments, extrêmement performants et attractifs pour une large communauté scientifique : SOLEIL à Saint-Aubin et le réacteur nucléaire expérimental Orphée, en association avec le Laboratoire Léon Brillouin (LLB).

Le centre CEA de Saclay poursuit son travail d'ouverture, multiplie les liens avec ses partenaires locaux et recherche, avec eux, à accroître encore sa visibilité au plan international.

Confortée par l'arrivée de la Direction générale du CEA à Saclay, cette démarche concerne aussi bien les technologies logicielles, qui s'intègrent au pôle de compétitivité System@tic PARIS-REGION, que la physique, la recherche sur le climat ou la santé.

Yves Caristan,
Directeur du centre CEA de Saclay.

1 NeuroSpin : centre d'imagerie cérébrale par résonance magnétique à champ intense.

Signature du contrat État-CEA

Le 5 juillet, Thierry Breton, Ministre de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Gilles de Robien, Ministre de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, François Goulard, Ministre délégué à l'Enseignement supérieur et à la Recherche, François Loos, Ministre délégué à l'Industrie et Alain Bugat, Administrateur général du CEA, ont signé le contrat d'objectifs État-CEA qui fixe des orientations et des objectifs pour les programmes civils du CEA sur la période 2006-2009. La signature a eu lieu dans le nouveau bâtiment de la Direction générale du CEA à Saclay qui a été inauguré à cette occasion (voir p.3).

Le contrat d'objectifs État-CEA est le fruit d'une étroite et confiante collaboration entre le CEA et ses ministères de tutelle. Il traduit tout d'abord la reconnaissance de son positionnement stratégique autour de deux grands axes : les énergies non émettrices de gaz à effet de serre, parmi lesquelles figurent le nucléaire (fission et fusion), ainsi que les technologies pour l'information et la santé. Le troisième axe stratégique du CEA portant sur la Défense et la sécurité globale, qui n'est pas intégré dans le présent contrat, a par ailleurs fait l'objet d'une validation par l'État selon une procédure distincte. Dans ces trois domaines essentiels pour le pays, le CEA joue un rôle unique en assurant une bonne articulation entre la recherche, l'innovation et l'industrie, porteuse de développement économique et de création d'emplois. Organisme de recherche à vocation principalement technologique, le CEA s'appuie sur une forte composante de recherche fondamentale, représentant un tiers de ses moyens affectés aux programmes, qui est confortée dans le présent contrat.

1 Signature de contrat et inauguration du bâtiment de la DG figuraient au programme de cette journée.

La Direction générale du CEA s'implante à Saclay

La Direction générale du CEA et le Haut-commissaire, qui siègeaient à Paris depuis la naissance de l'organisme, en 1945, ont quitté la capitale pour s'installer sur le centre de Saclay. L'environnement de Saclay évolue considérablement et le positionnement du CEA, au cœur de ce site d'excellence, se trouve conforté par l'installation de sa Direction générale. Cet emménagement s'inscrit dans une dynamique de visibilité internationale.

Un périmètre de compétences

L'ouverture du centre CEA de Saclay en 1952, à proximité des laboratoires du CNRS de Gif, de l'ONERA[1] à Châtillon et du centre d'études agricoles de Jouy-en-Josas, a marqué le début de la création d'une véritable Cité scientifique. Aujourd'hui, des industriels tels que Thales ou Danone organisent leur R&D autour des centres de recherche qui se sont successivement implantés. Ainsi, outre le CEA, le CNRS avec sa Délégation régionale Ile-de-France Sud, l'École polytechnique, Supélec, l'Institut d'optique, l'ONERA, l'INRIA[2], l'ENSTA[3], HEC[4] se sont-ils appropriés ce fameux plateau de Saclay dont les limites ne sont pas définies par un relevé topographique mais par un périmètre de compétences qui s'étend largement dans la vallée autour des Universités d'Orsay et de Saint-Quentin-en-Yvelines.

Une dynamique de grands projets …

La récente loi de programmation sur la recherche donne aux chercheurs les moyens de constituer des réseaux afin d'apparaître plus visiblement au plan international par un regroupement thématique de leurs outils et compétences. Autour du plateau de Saclay, se développe actuellement SYSTEM@TIC PARIS-REGION, le pôle de compétitivité « Logiciels et systèmes complexes », à vocation mondiale, labellisé par l'État en septembre 2005. Par ailleurs, de grands projets scientifiques et technologiques dans lesquels le CEA est largement impliqué sont en cours de développement : le synchrotron SOLEIL pour l'exploration de la matière, NeuroSpin, grande infrastructure de neuro-imagerie, et Digiteo Labs pour les sciences et technologies de l'information. Ces projets reflètent le potentiel de la région à devenir internationalement visible et attractive et montrent la capacité du CEA d'y intégrer sa recherche d'excellence.

…et d'aménagement du territoire

Pour être attractive, une région doit être accessible. C'est la raison pour laquelle une Opération d'intérêt national est en phase d'élaboration avec des composantes économiques, de logement et de transport, que l'État et les collectivités territoriales souhaitent développer.

Le saviez-vous ?

Le CEA a installé dans son nouveau bâtiment de la Direction générale un groupe électrogène de secours utilisant une pile à combustible. Il s'agit d'en montrer l'intérêt et la fiabilité puisque les nouvelles technologies de l'énergie sont un domaine dans lequel le CEA mène un important programme de recherche et de développement. Cela permettra également d'acquérir un retour d'expérience lors de la phase d'exploitation.

1 ONERA : Office national d'études et de recherches aérospatiales.

2 INRIA : Institut national de recherches en informatique et automatique.

3 ENSTA : Ecole nationale supérieure de techniques avancées.

4 HEC : Ecole des hautes études commerciales.

LE CEA EN BREF

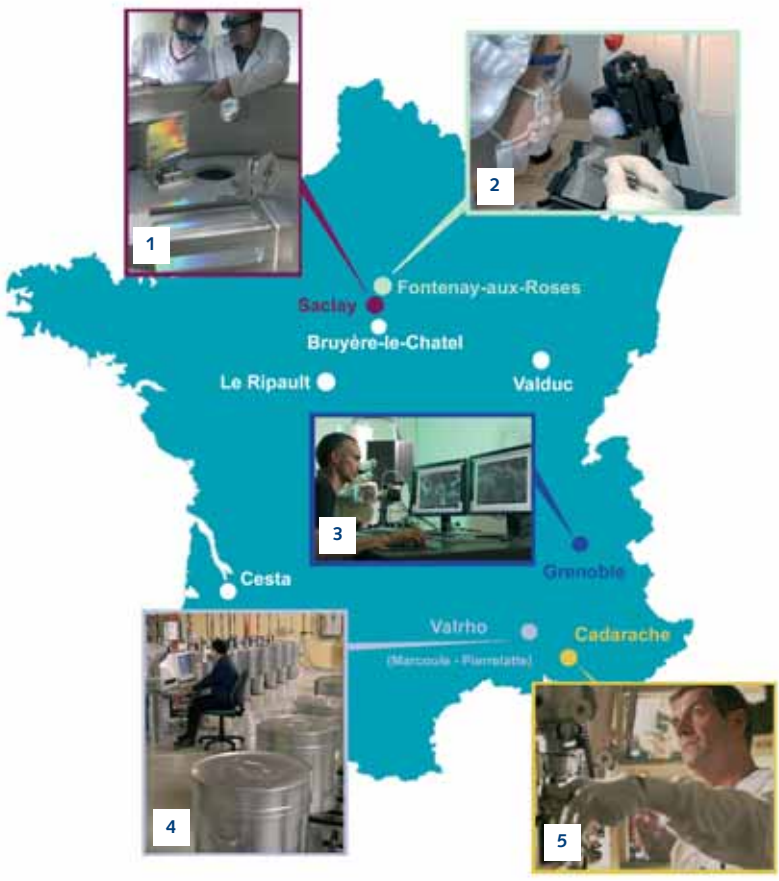
À l'occasion de l'arrivée de la Direction générale du CEA à Saclay, rappelons que le CEA est un acteur clé de la recherche européenne dans les domaines suivants : énergie, défense et sécurité, technologies pour l'information et la santé. En s'appuyant sur une recherche fondamentale d'excellence, il développe de nombreux partenariats avec des organismes nationaux et internationaux.

Il compte neuf centres de recherche en France dont trois en Ile-de-France (Bruyères-le-Châtel, Fontenay-aux-Roses, Saclay).

Le centre CEA de Saclay, très polyvalent, se caractérise par une grande diversité de ses domaines de recherche : sciences de la matière, sciences du vivant, énergie nucléaire, recherche technologique.

La mission de formation du CEA est assurée par l'INSTN, Institut national des sciences et techniques nucléaires qui, en plus de ses enseignements propres, gère la formation par la recherche (plus de 1 000 doctorants) et développe, aux plans national et international, des sessions de formation continue.

Enfin, la diffusion et la valorisation technologiques ainsi que l'aide à la création d'entreprises sont largement développées au CEA en général, et à Saclay en particulier : en un peu plus de vingt ans, une centaine d'entreprises ont été créées dans le secteur des hautes technologies à partir de technologies du CEA.



Le CEA compte neuf établissements. Quatre appartiennent à la Direction des applications militaires (DAM) : Valduc en Bourgogne, Le Ripault en Touraine, le Cesta en Aquitaine, DAM Ile-de-France (à Bruyères-le-Châtel) en Essonne. Les cinq autres centres sont : Saclay (Direction des sciences de la matière), Cadarache (Direction de l'énergie nucléaire), Valrhô, un acronyme de « Vallée du Rhône » qui englobe Marcoule et Pierrelatte (Direction de l'énergie nucléaire), Grenoble (Direction de la recherche technologique), Fontenay-aux-Roses (Direction des sciences du vivant). Bien que rattachés à une direction, la plupart de ces cinq centres hébergent des unités d'autres directions à l'exclusion de la DAM. Saclay est le plus pluridisciplinaire des centres CEA.

1 Saclay : plate-forme européenne d'interaction laser matière.

2 Fontenay-aux-Roses : laboratoire de haute sécurité microbiologique destiné à la recherche sur le prion.

3 Grenoble : plate-forme de caractérisation à l'échelle du milliardième de mètre (nanomètre), composée d'un microscope électronique à balayage notamment. Sur l'écran, des nanotubes de silicium.

4 Marcoule : essais de vieillissement thermique, sur plusieurs années, de maquettes représentatives de conteneurs d'entreposage de déchets nucléaires.

5 Cadarache : réacteur expérimental PHEBUS, dédié à l'étude d'accidents nucléaires.

COUP DE PROJECTEUR SUR QUELQUES ACTIVITÉS DE LA DIRECTION GÉNÉRALE DU CEA

Relations internationales

Le CEA est impliqué dans la construction de l'Espace européen de la recherche. Il met en place une représentation permanente dans les pays développant l'énergie nucléaire : États-unis, Russie, Chine, Inde, Japon, Corée du sud et, pour l'Europe, Allemagne, Italie, Finlande, Grande-Bretagne et Hongrie.

Dans le cadre du partenariat mondial G8 contre la prolifération des armes de destruction massive (dont les partenaires se réunissent cet été à Saint-Petersbourg), une coopération avec la Russie a été établie sur les thèmes de la non prolifération, du désarmement, de l'antiterrorisme et de la sûreté nucléaire.

Gestion des moyens financiers

Les ressources sont la subvention de l'État (65% du total) et des recettes telles que : dividendes d'Areva dont le CEA est actionnaire majoritaire, financements industriels, Union européenne, collectivités locales, organismes de recherche et universités. Des fonds spécifiques sont dédiés au démantèlement et à l'assainissement des installations nucléaires.

Diffusion de la culture scientifique et technique

Soucieux d'informer le public sur ses activités mais aussi de lui offrir des supports pédagogiques, le CEA édite des journaux périodiques et des livrets thématiques disponibles gratuitement en appelant au 01 64 50 10 17 (Patrice RENAULT). Par ailleurs, un site internet propose informations, dossiers et animations téléchargeables : http://www.cea.fr.

Direction des programmes

Le CEA est lié à ses ministères de tutelle (Défense, Industrie, Recherche) par un contrat quadriennal (voir p.2) décrivant son positionnement dans le dispositif français de recherche mais aussi le positionnement européen de l'organisme et une stratégie internationale. Les programmes y sont définis et décrivent les enjeux, les axes de recherche à suivre, les jalons et les indicateurs d'évaluation.

1 **Le bâtiment de la Direction générale du CEA, conçu par Claude Vasconi, comporte un sous-sol et quatre niveaux pour une superficie totale de 8 880 m². Près de deux cents personnes y travaillent. (illustration : maquette du bâtiment)**

Orphée et le Laboratoire Léon Brillouin, source nationale de neutrons

Associé au Laboratoire Léon Brillouin (LLB), le réacteur nucléaire expérimental Orphée est un « très grand équipement » dédié à l'analyse de la matière par les neutrons. Construit il y a vingt-cinq ans pour compléter l'offre européenne en matière de neutrons, Orphée vient d'être confirmé dans sa vocation de source nationale. Avec le démarrage du synchrotron SOLEIL, le plateau de Saclay s'enrichit d'une installation très complémentaire du tandem Orphée-LLB.

Carte d'identité

Orphée : réacteur de recherche de 14 MW (Direction de l'énergie nucléaire, Saclay), 60 personnes.

LLB : instrumentation utilisant les neutrons d'Orphée (Direction des sciences de la matière, unité mixte CEA-CNRS), 110 personnes.

Synchrotron SOLEIL : instrumentation utilisant le rayonnement synchrotron (société civile CNRS, CEA, Région Ile-de-France, Conseil général de l'Essonne, Région Centre), 300 personnes.

Orphée, un réacteur au meilleur niveau mondial

Au troisième rang mondial, Orphée délivre des faisceaux de neutrons sur mesure, 180 jours par an, sur une trentaine d'aires expérimentales.

À la différence d'un réacteur générateur d'électricité, Orphée est optimisé pour produire et extraire les particules impliquées dans la fission nucléaire (les neutrons) et non pas la chaleur dégagée par ces réactions. Des faisceaux de neutrons aux propriétés variées desservent une trentaine d'aires expérimentales (voir schéma p.8). Certains d'entre eux sont acheminés dans des guides sur des distances supérieures à quarante mètres. C'est l'interaction entre des neutrons bien « calibrés » et l'échantillon à étudier qui fournit le résultat de l'analyse. Les physiciens du LLB sont responsables de l'instrumentation neutronique et de l'interprétation des résultats obtenus.

Exploiter un réacteur

Pour piloter le réacteur, des équipes « de quart », composées de quatre personnes, se relayent nuit et jour, tout au long d'un cycle de fonctionnement de cent jours. Le combustible nucléaire doit ensuite être renouvelé. Sur une année, le réacteur totalise cent quatre-vingts jours de fonctionnement. Les périodes d'exploitation et d'entretien sont choisies de manière à assurer une continuité de l'offre de neutrons, en concertation avec d'autres réacteurs européens (voir encadré p.10). L'installation est portée au meilleur niveau de sûreté et de performances par un programme rigoureux de maintenance et des opérations de jouvence, régulièrement planifiées depuis la mise en service d'Orphée en 1980. Parmi les opérations importantes, citons le remplacement du caisson renfermant le cœur en 1997, la réfection de deux canaux d'extraction de neutrons en 2003 et de baies de contrôle-commande en 2004. Un autre canal d'extraction sera remplacé partiellement cet été, puis complètement à l'été 2007.

Déceler des traces métalliques

Le réacteur Orphée est relié par des canaux pneumatiques au Laboratoire Pierre Süe[1] (LPS), dont l'analyse par « activation neutronique » est l'une des spécialités. L'irradiation rend radioactifs certains des éléments présents dans l'échantillon à l'état de traces, qui deviennent décelables grâce à l'extrême sensibilité des mesures de radioactivité. Il est possible de doser de la sorte une

1

2

trentaine d'éléments dans les végétaux et une quarantaine d'autres dans des matériaux minéralogiques (roches, sédiments ou laves). Les domaines d'intérêt s'étendent des matériaux à l'environnement, en passant par l'archéologie ou la biologie. Ainsi par exemple, l'analyse de mousses végétales prélevées sur tout le territoire national a permis de cartographier la pollution issue de retombées atmosphériques, notamment le plomb, le chrome ou le cadmium.

Contrôler des explosifs à l'intérieur du métal

Une autre application du réacteur est implantée dans une casemate située derrière le hall des guides du LLB : la radiographie aux neutrons ou neutronographie. Seule cette technique permet de contrôler des explosifs à l'intérieur d'une pièce métallique. Voilà pourquoi depuis de nombreuses années, le CNES[2] impose que toutes les lignes pyrotechniques de ses lanceurs (quelques centaines de pièces par fusée) soient contrôlées après montage par les neutrons d'Orphée. Mieux vaut en effet vérifier que l'explosif est indemne de fissure ou de cavité, des défauts susceptibles d'invalider une fonction vitale de la fusée comme la séparation des étages ou le largage du satellite. A cette mission historique, s'ajoute le contrôle de pièces aéronautiques et de certaines pièces des combustibles destinés aux réacteurs expérimentaux. Au total, près de cinq mille pièces sont contrôlées annuellement pour une dizaine de clients industriels.

Un outil pour les composants électroniques

Orphée est également à la marge un outil industriel. Près de cinq tonnes de silicium dopé sont produites annuellement grâce à Orphée et à l'autre réacteur expérimental de Saclay, Osiris. Le dopage consiste à transmuter, à l'aide des neutrons, le silicium en phosphore, sans que ni l'un, ni l'autre de ces éléments ne reste radioactif. Les lingots de

Le saviez-vous ?

Un portrait du neutron

Le neutron est un constituant du noyau de l'atome (nucléon). A la différence du proton, il ne porte pas de charge électrique. Cette neutralité lui donne le rôle principal dans les réactions de fission nucléaire. Lui seul peut interagir avec les noyaux d'uranium et les « casser » en deux fragments. Cette réaction de fission libère deux ou trois neutrons, susceptibles d'interagir à leur tour avec d'autres noyaux. Ces interactions relèvent de « forces nucléaires », à très courte portée. Le neutron n'interagit pas avec les électrons périphériques.

Qu'est-ce que le rayonnement synchrotron ?

Le rayonnement synchrotron est constitué de rayons X produits par des électrons accélérés suivant une trajectoire circulaire.

Neutrons ou rayonnement synchrotron ?

Les rayons X interagissent avec les électrons périphériques de l'atome tandis que les neutrons sont sensibles à ses nucléons. Les neutrons sont sensibles à des atomes légers comme l'hydrogène, qui sont peu visibles en X, et distinguent les différents isotopes[1] d'un élément, ce que ne permettent pas les rayons X.

Les neutrons n'interagissent pas beaucoup avec la matière ; ils ont donc un fort pouvoir de pénétration. Contrairement aux rayons X qui n'explorent qu'une épaisseur de quelques micromètres à partir de la surface, les neutrons peuvent sonder un échantillon massif dans sa totalité.

1 Les isotopes d'un élément chimique ne diffèrent que par leur nombre de neutrons.

3

silicium très pur, de forme cylindrique, sont irradiés dans un canal vertical, à proximité du cœur du réacteur. Cette technique assure une homogénéité inégalée, indispensable en électronique de puissance, pour la commande de moteurs électriques de tramway, de TGV ou encore de véhicules hybrides (à double motorisation électrique et essence). La projection en 2010 des ventes de ces voitures montre que la production mondiale de silicium dopé en réacteur, aujourd'hui de cent tonnes, devrait doubler…

Orphée produit également des fils d'iridium radioactif pour le traitement localisé de tumeurs par curiethérapie, ainsi que des gels contenant du samarium et de l'yttrium (également radioactifs) pour soulager des douleurs articulaires.

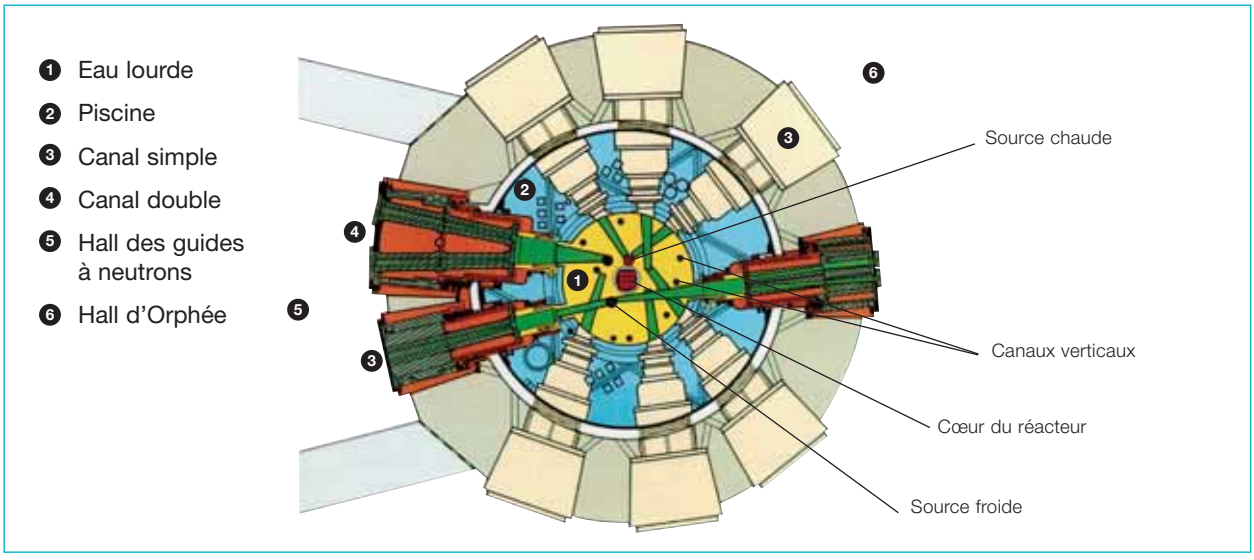
1 LPS : Laboratoire mixte du CEA et du CNRS implanté sur le centre de Saclay.

2 CNES : Centre national d'études spatiales.

1 Salle de conduite d'Orphée : l'équipe de quart assure le pilotage du réacteur depuis cette salle.

2 L'objet à contrôler est disposé face au guide à neutrons ; un détecteur placé à l'arrière fournira la neutronographie ou radiographie aux neutrons.

3 Un lingot de silicium de forme cylindrique est mis en place à proximité du cœur du réacteur pour être dopé par transmutation.



ORPHÉE, MODE D'EMPLOI

Les neutrons « bruts », sortis du réacteur, n'interagissent que peu avec la matière : il faut les ralentir très fortement pour les rendre utilisables. L'eau lourde[1] qui entoure le combustible remplit cette fonction : les neutrons perdent de la vitesse au cours de « chocs » successifs.

Pour éliminer au maximum les neutrons rapides, l'extraction s'effectue suivant une direction non radiale, à près de 40 centimètres du cœur. Les neutrons sont sélectionnés dans des canaux horizontaux ou « doigts de gants », des pièces en aluminium baptisées ainsi en raison de leur forme.

Orphée est équipé au total de neuf canaux, organisés en vingt faisceaux de neutrons. Trois d'entre eux visent des sources froides (de l'hydrogène liquide, à –253°C) et deux autres, une source chaude (du graphite porté à plus de 1 100°C). Situées dans la piscine d'eau lourde, ces sources permettent d'ajuster l'énergie des neutrons aux besoins des utilisateurs.

Deux des canaux (à gauche) transportent six faisceaux dans le hall d'expériences du LLB. Comme la lumière laser dans une fibre optique, les neutrons sont guidés dans des tubes en verre au bore, revêtus d'une couche réfléchissante. Neuf canaux, verticaux cette fois, sont utilisés pour irradier des échantillons.

La protection radiologique des personnes est assurée par une piscine d'eau ordinaire de quinze mètres de profondeur.

1 Eau lourde : molécule d'eau dans laquelle le deutérium s'est substitué à l'hydrogène. Le deutérium est une variété d'hydrogène plus lourde.

Laboratoire Léon Brillouin : expertise et accueil

Le LLB assume une double mission : développer les techniques d'analyse par les neutrons et entretenir des contacts avec de nombreux laboratoires, à travers des collaborations scientifiques et l'accueil d'équipes qui viennent réaliser des expériences.

Dans le bureau du directeur du LLB, une carte de France affiche les multiples relations scientifiques du laboratoire par autant de petits drapeaux plantés sur le territoire. Elles représentent les deux tiers du total, 25% sont européennes et 8% sont nouées avec la Russie, l'Europe de l'Est ou d'autres pays émergents. « Le LLB accède aujourd'hui à une dimension internationale, notamment par le biais d'initiatives européennes destinées à favoriser la formation des chercheurs », souligne Philippe Mangin, le directeur du LLB. Les collaborations les plus fructueuses sont celles où des chercheurs du LLB participent pleinement au travail scientifique, à l'élaboration des expériences. En amont de l'accueil, le LLB organise régulièrement des formations à la neutronique.

Synergies

Très complémentaires, les neutrons du LLB et les rayons X du synchrotron SOLEIL, qui est en train d'achever sa phase de montée en puissance, sont convoités par la même communauté scientifique. Aussi le LLB et SOLEIL organisent-ils conjointement les « Rencontres scientifiques de Saint-Aubin ». Les synergies entre les équipes sont appelées à se développer encore davantage.

1

2

Des spécialités reconnues

Les thématiques propres au LLB représentent près de 60% de son activité et l'accueil d'équipes 40%.

Parallèlement à l'instrumentation neutronique proprement dite, le LLB a développé des spécialités scientifiques qui sont aujourd'hui reconnues internationalement : on peut citer la diffusion de l'eau dans les milieux confinés (voir p.10), les cristaux de molécules sous de très hautes pressions (voir p.12) ou l'étude de supraconducteurs à haute température critique (voir p.11).

Parmi les expériences montées pour des laboratoires extérieurs, beaucoup visent à caractériser des émulsions, qu'il s'agisse de développer un cosmétique, favoriser le transport de pétrole brut lourd ou épaissir un gel destiné à nettoyer des fresques. Comme la mayonnaise, l'émulsion est constituée de gouttes d'huile en suspension dans de l'eau (ou l'inverse). Des molécules enserrent chaque goutte, formant une sorte de coque. Les neutrons permettent d'étudier alternativement les gouttes ou bien les

Le saviez-vous ?

Onde et corpuscule

Comme la lumière, le neutron se comporte à la fois comme un corpuscule et comme une onde. La longueur de l'onde associée, proche des distances entre atomes, et son énergie, voisine des énergies de vibration des atomes, font du neutron une sonde idéale de la matière condensée.

coques, plus précisément l'organisation des atomes, molécules ou agrégats situés aux interfaces entre les milieux. De telles mesures, à caractère appliqué, renvoient également à des interrogations plus fondamentales : comment des objets composant un film (plan) se réorganisent-ils en volume autour d'une sphère ?

Pour en savoir plus :
www-llb.cea.fr

Orphée-LLB-SOLEIL, comme à Grenoble…

L'association Orphée - LLB - SOLEIL du plateau de Saclay évoque immanquablement, à Grenoble, l'Institut Laue-Langevin (ILL) et le synchrotron ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), financés respectivement par 11 et 18 pays européens. Le Réacteur à haut flux de l'ILL délivre une puissance de 58 MW (millions de watts), à comparer avec 14 MW pour Orphée. L'ILL offre un flux de neutrons cinq fois plus élevé que celui du LLB.
Le rayonnement de l'ESRF est un peu plus énergétique que celui de SOLEIL (rayons X « durs »).
Essentiellement complémentaires, les installations grenobloises et franciliennes ne parviennent pas à satisfaire la moitié des demandes.

3

1 Certaines expériences du LLB comme sur cette vue sont implantées à proximité du réacteur.

2 Expériences déportées dans le « hall des guides » du LLB. Les guides transportent les neutrons d'Orphée sur les aires expérimentales.

3 Suivi des expériences depuis le poste de contrôle : on distingue des protections en béton contre le rayonnement en provenance du guide à neutrons.

L'EAU, LE MOTEUR DES PROTÉINES

1

Pourquoi les protéines cessent-elles de remplir leur fonction biologique en dessous de -53°C ? C'est une des énigmes élucidées grâce aux neutrons. Une protéine est un énorme édifice moléculaire dont la paroi externe est tapissée de petites molécules d'eau, animées de mouvements incessants. De manière inattendue, ce film d'eau reste liquide à basse température (jusqu'à -113°C) mais en dessous de -53°C, l'eau subit une transformation (ou transition de phase) qui réduit sa mobilité au niveau microscopique. Les molécules d'eau se figent et, en conséquence, la protéine aussi. Lorsque la température remonte, les molécules d'eau retrouvent leur rôle moteur et entraînent à nouveau dans leur sillage les « branches » de la protéine. Ces mouvements infinitésimaux, détectables grâce aux neutrons, sont indispensables à la protéine pour mener à bien sa mission spécifique.
Les spécialistes de l'eau du LLB peuvent également apporter des éléments de réponse à d'autres questions. Comment fabriquer des crèmes glacées sans cristaux de glace ? Comment conserver au mieux le principe actif d'un médicament ? Comment l'eau diffuse-t-elle dans les feuillets d'argilite d'un stockage de déchets radioactifs ? Comment améliorer la durée de vie du béton ?

1 Avant l'expérience, l'échantillon de protéines doit être positionné à basse température dans l'appareil.

UNE PILE À COMBUSTIBLE SOUS LES NEUTRONS

Une pile à combustible bombardée par des neutrons : cette expérience originale, réalisée au LLB par des chercheurs du centre CEA de Grenoble[1], vise à mieux comprendre la délicate gestion de l'eau dans les piles à membrane échangeuse de protons (voir p.14). Nécessaire à la mobilité des protons, l'eau n'est pas répartie de manière homogène entre les deux électrodes d'une pile en fonctionnement. Un équilibre s'établit rapidement entre deux flux antagonistes : en effet, le transport de l'eau par le flux de protons entraîne un déséquilibre localisé de la teneur en eau de la membrane que tend à compenser une diffusion de l'eau en sens inverse. L'analyse de piles tests par les neutrons a fourni des profils de concentration en eau sur une épaisseur inférieure au dixième de millimètre dans des conditions proches de la réalité. Les premiers résultats font apparaître une « marche » dont la position transversale varie avec l'intensité du courant électrique, la température et aussi la géométrie de la distribution des gaz.

En parallèle, les neutrons d'Orphée ont apporté une contribution plus fondamentale pour comprendre la structure microscopique de la membrane et la dynamique de l'eau, à la fois pour les matériaux de référence et pour des matériaux alternatifs qui seraient moins onéreux pour des applications grand public des piles à combustible.

1 Département de recherche fondamentale sur la matière condensée (Direction des sciences de la matière), Département des technologies de l'hydrogène (Direction de la recherche technologique).

1 Des centaines de détecteurs sont utilisés pour mesurer la mobilité de l'eau.

MAGNÉTISME ET SUPRACONDUCTIVITÉ À HAUTE TEMPÉRATURE

C'est au début du XX[e] siècle qu'ont été découverts les supraconducteurs, des matériaux capables de transporter sans résistance un courant électrique. Pendant plusieurs décennies, cet état de la matière est demeuré confiné à des températures proches du zéro absolu (-273°C). En 1986, la supraconductivité se réchauffe soudainement jusqu'à -140°C, dans de nouveaux matériaux à base d'oxydes de cuivre. A une échelle microscopique, le phénomène requiert une interaction attractive permettant aux électrons de s'apparier. Alors que dans les supraconducteurs classiques, ce rapprochement s'opère par couplage des électrons avec les vibrations du réseau cristallin, la supraconductivité à haute température semble impliquer un autre mécanisme. Parmi les modèles proposés, l'appariement via des fluctuations à caractère magnétique retient l'attention des physiciens. Or la technique de diffusion des neutrons sur la matière permet de sonder ses propriétés magnétiques, dans l'espace et le temps. Elle est mise en œuvre au LLB pour tenter de percer le mystère de l'appariement supraconducteur (à haute température) dans les oxydes de cuivre. Pour détecter des signaux magnétiques très ténus, potentiellement impliqués dans les propriétés électroniques exotiques de ces matériaux, ces expériences nécessitent de très gros échantillons monocristallins, dont la cristallogenèse relève souvent du défi.

1 Les neutrons permettent de sonder les propriétés magnétiques de la matière. Derniers préparatifs avant les mesures.

UN CRISTAL DE MOLÉCULES BIEN ORDONNÉ

Que devient un gaz comme l'hydrogène à très basse température ? Il se liquéfie à –253°C et se solidifie à –259°C. Soumis à un bombardement de neutrons, l'hydrogène liquide ne renvoie pas de signal significatif : les molécules de dihydrogène (H_2) y sont totalement désordonnées. Descendons plus bas en température : à –259°C, il apparaît un signal, témoin de l'organisation des molécules H_2 au sein d'un cristal. Dans cette structure, celles-ci sont régulièrement disposées aux sommets de « mailles » élémentaires mais curieusement, elles conservent une entière liberté de rotation, même au zéro absolu (-273°C). Cette singularité trahit le comportement quantique de l'hydrogène : les atomes H restent imparfaitement localisés, comme les électrons autour du noyau atomique. Que se passe-t-il lorsqu'on soumet un tel cristal à de très fortes pressions cette fois ? Des chercheurs du LLB ont appliqué près de 40 milliards de pascals (soit 400 000 fois la pression atmosphérique) à un cristal moléculaire de deutérium[1], une variété « lourde » d'hydrogène. Le signal neutronique a dévoilé une nouvelle structure cristalline, au sein de laquelle les molécules de deutérium ont perdu un peu de leur liberté de mouvement. Après ce record mondial, les chercheurs tenteront de reproduire le même phénomène avec de l'hydrogène, encore plus « quantique » que le deutérium, sous une centaine de milliards de pascals…

1

1 Porté à une température de –271,5°C.

1 **Positionnement de grande précision d'un échantillon avant les mesures.**

Interview d'un utilisateur

Dominique Bazin, directeur de recherches au Laboratoire de physique des solides du CNRS, à Orsay

Quel questionnement scientifique vous a conduit au LLB ?

DB : Je cherche à dépeindre les caractéristiques physico chimiques des calculs rénaux. L'analyse de ces « biomatériaux » nous renseigne sur les causes de la maladie associée, la lithiase urinaire. Un calcul est un objet complexe, constitué de « nanocristallites » dans une trame protéique. Leur composition est analysée à l'hôpital pour le diagnostic. Complétant cette approche, les neutrons permettent de mesurer la taille moyenne des cristallites sur l'ensemble de l'échantillon, de déterminer l'hydratation des cristaux, notamment d'oxalate de calcium, et d'étudier l'interface entre épithélium[1] et cristaux. Ces informations renvoient à différentes causes de la maladie.

Comment s'est passé votre premier contact avec le LLB ?

DB : J'ai rapidement été reçu par un chercheur du LLB pour des essais préliminaires. Un projet a ensuite été soumis au comité scientifique qui siège deux fois par an.

Qui sont les partenaires de votre projet ?

DB : Je travaille dans le cadre d'un modèle médical, établi par le Dr Daudon, directeur du laboratoire CRISTAL[2] à l'Hôpital Necker-Enfants malades à Paris. Aux côtés d'autres collègues du CNRS, des chercheurs du LLB participent à l'orientation scientifique du projet.

Fréquentez-vous d'autres laboratoires d'accueil ?

DB : Oui, j'ai réalisé des mesures au synchrotron du LURE[3] et de l'ESRF, j'ai déposé une demande au Laboratoire Pierre Süe et je solliciterai prochainement le synchrotron SOLEIL.

1 Epithélium : tissu formé d'une ou plusieurs couches de cellules remplissant des fonctions de revêtement ou de secrétion.

2 CRISTAL : Centre de recherches et d'Informations scientifiques et techniques appliquées aux lithiases.

3 LURE : Laboratoire pour l'utilisation du rayonnement électromagnétique, à Orsay, aujourd'hui remplacé par le synchrotron SOLEIL.

Du laboratoire à l'entreprise

IVEA : des analyses chimiques par laser

Créée en décembre 2005 pour valoriser une technique d'analyse chimique par laser développée au CEA à Saclay, la société IVEA ambitionne de devenir leader européen sur ce marché.

1

En quête d'un projet de création d'entreprise, Dominique Gallou contacte mi 2003 l'association Opticsvalley[1], qui le met en relation avec le Département de physico-chimie de la Direction de l'énergie nucléaire, à Saclay. Ce spécialiste d'instrumentation optique opte alors pour la valorisation d'une technique d'analyse chimique en temps réel par ablation laser : la LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy). Le procédé consiste à focaliser un laser sur l'objet à analyser : le matériau est localement « vaporisé » sous forme de « plasma »[2], qui se désexcite en émettant de la lumière. Un logiciel spécialisé permet de relier les composantes lumineuses analysées par un spectromètre aux éléments chimiques constituant le matériau et à leurs concentrations. La LIBS ne requiert pas de préparation spécifique d'échantillons et, à la différence de la technique concurrente par fluorescence X, elle autorise l'analyse d'éléments légers, permet des mesures déportées et offre une résolution spatiale inégalée (y compris en profondeur).

Des instruments clé en main ou sur mesure

Lauréat 2005 du concours d'aide à la création d'entreprise OSEO ANVAR, Dominique Gallou fonde en décembre de la même année la société IVEA. Celle-ci propose aujourd'hui un instrument LIBS, décliné en trois versions : la première, transportable, est adaptée à des mesures sur le terrain, la deuxième utilise une fibre optique pour acheminer le faisceau laser *in situ* et autorise des mesures déportées à plusieurs dizaines de mètres, la troisième opère sur une surface micrométrique et réalise des cartographies analytiques. Au-delà de son catalogue de produits, IVEA offre à ses clients des prestations personnalisées, qui visent à définir un instrument sur mesure, moins cher que les modèles clé en main. Il s'agit d'accompagner le client dans sa démarche, jusqu'à lui fournir un protocole d'utilisation spécifique. Les secteurs démarchés sont l'automobile, la métallurgie, le contrôle de lignes de production et l'environnement.

1 Réseau des technologies optique, électronique et ingénierie logicielle, et de leur convergence, en Région Ile-de-France.

2 Plasma : état particulier de la matière, constitué d'un mélange de particules neutres, d'ions (atomes ou molécules ayant perdu un ou plusieurs électrons) et d'électrons.

Interview

Dominique Gallou, Président d'IVEA

Quel regard portez-vous sur votre expérience ?

D.G. : Exporter un savoir-faire du laboratoire vers le secteur industriel est un travail passionnant. Cette expérience a montré qu'il est possible d'agir rapidement, pour peu que chacune des deux parties sache faire preuve de souplesse et d'une reconnaissance mutuelle. Le CEA possède un réservoir de compétences immense et c'est un atout majeur pour la réussite d'IVEA. Notre seule faiblesse par rapport aux sociétés étrangères, c'est la difficulté à obtenir des financements permettant d'assurer rapidement une position de leader.

1 IVEA réalise des tests chez des clients avec un prototype transportable dans une voiture particulière. L'entreprise a reçu une aide du Conseil régional d'Ile-de-France pour la mise au point de ce prototype.

Des piles à combustibles dopées aux enzymes

Des travaux sur la corrosion marine ont conduit des chercheurs de Saclay à introduire des enzymes dans les piles à combustibles. Cette innovation permettrait à terme d'abaisser significativement le coût de fabrication des piles.

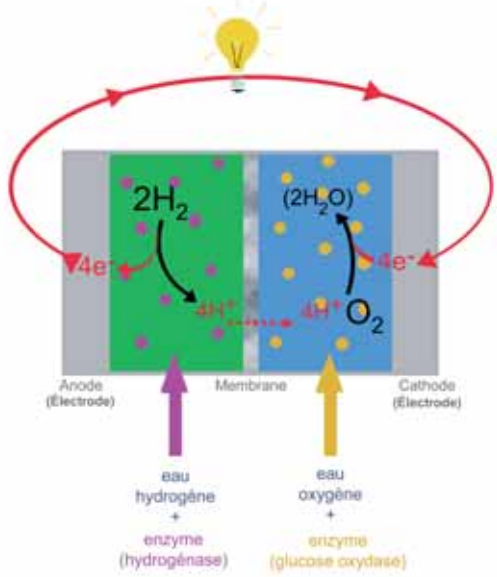
L'étude de la corrosion des aciers inoxydables en eau de mer a entraîné les ingénieurs du Département de physico-chimie (DPC) de Saclay et leurs partenaires toulousains et gênois[1] vers des terres inattendues. Dans certaines conditions, ils ont observé la formation d'un « biofilm » sur l'acier : loin de jouer un rôle protecteur, ce revêtement adhérent, secrété par des bactéries marines, favorise la corrosion de manière catastrophique. Les chercheurs ont alors eu l'idée de tirer profit de cette étonnante propriété dans une pile à combustible. La corrosion s'accompagne du transfert d'électrons du métal à l'oxygène, ce qui est précisément une des deux réactions chimiques à l'œuvre dans une pile à combustible (voir schéma). Or celle-ci ne se produit avec un rendement convenable qu'en présence d'un matériau catalyseur onéreux : le platine. Dans une pile prototype baignant dans le port italien de Gênes, le métal précieux a donc été remplacé par un « biofilm » naturel : la puissance de la pile s'est révélée bien supérieure !

1

Des enzymes dans nos moteurs ?

Les chercheurs saclaysiens ont aujourd'hui identifié certaines substances actives produites par les micro-organismes marins. Ce sont des protéines, appelées enzymes en raison de leur aptitude à favoriser une réaction chimique. Elles ont été sélectionnées sur la base de critères pratiques : faible coût, absence de toxicité, bonne conservation et sont utilisables *a priori* dans les deux compartiments de la pile. D'un côté, les « hydrogénases » pourront « aider » à dissocier les molécules d'hydrogène (H_2) et à extraire leurs électrons ; de l'autre, les « oxydases » faciliteront le transfert de ces électrons aux molécules d'oxygène. Ces travaux s'inscrivent aujourd'hui dans le cadre d'un programme « blanc » financé par l'Agence nationale de la recherche, baptisé « Bactériopile », qui associe les partenaires déjà cités ainsi que l'industriel Arcelor. Mettrons-nous demain des enzymes dans nos moteurs ?

La pile à combustible à membrane échangeuse de protons



Une pile à combustible délivre un courant électrique grâce à deux réactions électrochimiques qui ont lieu dans des compartiments distincts. Dans le premier d'entre eux, le combustible (ici le dihydrogène H_2) cède à une électrode des électrons. Dans le second, ces électrons sont extraits de l'électrode et captés par l'oxygène. Pour maintenir la neutralité électrique de l'ensemble, les atomes d'hydrogène privés de leur électron (protons H^+) doivent passer du premier compartiment à l'autre, à travers une membrane dite échangeuse de protons. Le sous-produit des réactions se résume à de l'eau, ce qui rend la pile à combustible très attractive pour alimenter le moteur des voitures.

1 Laboratoire de génie chimique (CNRS, Institut national polytechnique de Toulouse, Université de Toulouse 3), Instituto di scienze marine à Gênes).

1 Vue de profil comme sur le schéma, cette pile à combustible prototype ne comporte aujourd'hui des enzymes que dans un seul compartiment, celui de la cathode.

Simulation d'un incident au centre CEA de Saclay

Le 13 juin dernier, a eu lieu un exercice simulant un incident nucléaire sur le site du centre CEA de Saclay. Cet exercice s'inscrit dans une démarche de prévention et de protection de la population riveraine et de l'environnement.

Organisé par la préfecture de l'Essonne, il a permis aux pouvoirs publics de tester le dispositif de secours prévu en cas d'accident réel, la coordination entre les acteurs et la cohérence des actions mises en œuvre.

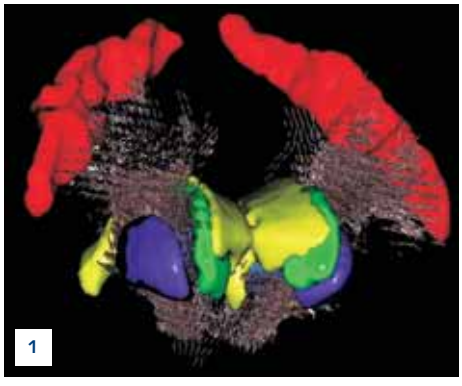
Peu après 9h, les habitants de Saint-Aubin, avertis d'abord par les sirènes puis par les sapeurs pompiers, ont été invités à se mettre à l'abri. Un périmètre de sécurité a été mis en place, tout autour du centre CEA de Saclay et de la commune de Saint-Aubin, par la gendarmerie nationale, avec des contrôles d'accès ainsi que des déviations.

Cet exercice a permis de tester et de valider un nouveau « plan d'engagement opérationnel » conçu par le CEA de Saclay, qui précise l'organisation des interventions et des secours par les différents services de sécurité et de santé du centre.

1 Les personnels de la Formation locale de sécurité du centre CEA transportent la structure gonflable du « sas » qui accueillera les blessés pour les premiers soins radiologiques et médicaux.

Imagerie cérébrale et mouvements de l'eau

Une équipe du Service hospitalier Frédéric Joliot à Orsay, en collaboration avec une équipe de l'Université de Kyoto, a démontré que la mesure, dans le cerveau, des mouvements de diffusion des molécules d'eau traduisait directement et rapidement l'activation des neurones. La puissance de la méthode employée, l'Imagerie par résonance magnétique de diffusion (IRMd), tient au fait qu'elle permet de relier des mesures réalisées à une échelle macroscopique à l'architecture microscopique du tissu neuronal. L'organisation géométrique des cellules dans le tissu cérébral modifie en effet de manière sensible les mouvements désordonnés des molécules d'eau. Les mesures réalisées par cette méthode ont montré que l'activation cérébrale provoque une légère baisse de la diffusion des molécules d'eau, conséquence d'un petit gonflement des cellules activées. En définitive, l'IRMd reflète plus directement l'activité des neurones que l'IRM fonctionnelle classique, fondée sur l'augmentation du débit sanguin. Elle se révèle à la fois plus rapide, plus localisée et plus intimement liée à l'activation des neurones et constitue donc une alternative intéressante à l'imagerie de la fonction cérébrale.



Il reste à comprendre la signification véritable du phénomène observé : l'eau, molécule de la vie serait-elle également molécule de l'esprit ? C'est l'une des questions auxquelles permettra de répondre le centre d'imagerie cérébrale à très haut champ, NeuroSpin, qui ouvrira ses portes au centre CEA de Saclay.

1 L'IRM de diffusion appliquée aux molécules d'eau est un outil novateur d'observation de l'activité cérébrale.

Conférence Cyclope Juniors

Mardi 3 octobre 2006

Climat et effet de serre

Par Valérie Masson-Delmotte, responsable de l'équipe de glaciologie et de paléoclimatologie continentale, chercheur au LSCE (Unité mixte de recherche CEA-CNRS) de Saclay et **Jean Poitou,** conseiller scientifique au LSCE.

Cette aquarelle de Samuel Birmann (1823) représente la mer de glace, pénétrant largement dans la vallée de Chamonix (Kunstmuseum, Bâle).

Cette photo (1995) montre le même site.
L'extrémité du glacier a régressé de 1 800 mètres.

Cela fait déjà près de 50 ans que les spécialistes ont tiré le signal d'alarme : en brûlant le carbone que la nature a mis des centaines de millions d'années à stocker dans le sous-sol de la terre, l'homme est en train de changer le climat de façon importante et durable.
Pour faire fonctionner son industrie et assurer le transport des marchandises, mais aussi pour assurer son bien-être et ses loisirs, l'homme consomme une quantité toujours croissante d'énergie, la plus grande partie étant fournie par le pétrole, le gaz naturel et le charbon.
En brûlant ces combustibles, nous rejetons dans l'atmosphère 7 milliards de tonnes de carbone par an, dont seulement une moitié est reprise par la végétation et les océans. Le reste s'accumule dans l'atmosphère où il joue le rôle d'une serre, empêchant la chaleur apportée par le soleil de quitter la basse atmosphère.
On observe depuis 1850 un réchauffement de la planète. Ce réchauffement s'est fortement accéléré au cours des années 1990. Mais l'Europe avait subi au cours des 4 siècles précédents un refroidissement marqué, avec des hivers durant lesquels les canaux et les rivières gelaient, ainsi qu'en attestent les très nombreuses scènes hivernales représentées par les peintres flamands tout au long de cette période.
Le réchauffement intervenu depuis le milieu du 19ème siècle est-il simplement un retour à la situation précédente, ou l'homme porte-t-il une part de responsabilité ?
Les catastrophes climatiques comme la tempête de 1999, la canicule de 2003, les cyclones de 2005 tel que Katrina, qui a dévasté la Nouvelle Orléans, sont-elles des preuves du changement du climat global ?
Que penser d'hivers qui restent froids longtemps comme celui que nous avons connu cette année ? Le climat se réchauffe-t-il vraiment ? Et que dire des fameux « gaz à effet de serre » ?
Pour répondre à ces questions, il faut comprendre comment fonctionne le climat, voir comment se redistribue sur l'ensemble de la terre la chaleur que le soleil apporte de façon tellement plus importante aux régions situées entre les tropiques, prendre la mesure du rôle considérable que joue l'eau sous toutes ses formes, liquide, vapeur, glace.
Cette conférence juniors permettra de mieux comprendre la « machine climatique », de mieux connaître ce qu'est « l'effet de serre », dont nous entendons maintenant parler si souvent.

Renseignements pratiques :

Accès : ouvert à tous, entrée gratuite
Lieu : Institut national des sciences et techniques nucléaires, Saclay (voir plan)
Horaire : 20 heures
Organisation/renseignements :
Centre CEA de Saclay,
Unité communication et affaires publiques
Tél : 01 69 08 52 10
Adresse postale : 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

Les Jeudis du CEA

Jeudi 28 septembre 2006 à 19h,

« Tsunami de l'Océan indien : deux ans après »,

avec François Schindelé, expert tsunami au CEA, représentant de la France au Groupe intergouvernemental de coordination du système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique (CEA Direction des applications militaires Ile-de-France).

Renseignements : Lieu : café de la FNAC Vélizy, centre commercial Vélizy 2, Entrée libre